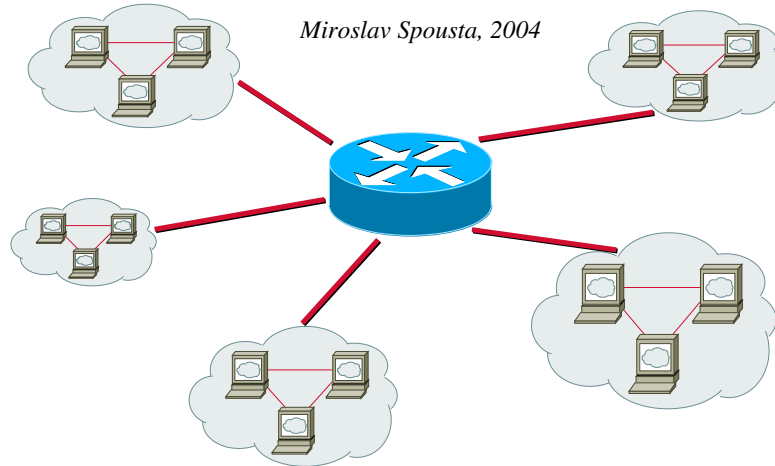


# Počítačové sítě I

## 5. Ethernet

Miroslav Spousta, 2004



1

## síťové technologie – vrstvy

- technologie (opravdu přenáší data)
- zahrnují (většinou) dvě nejnižší vrstvy
  - fyzickou: kabeláž, kódování, přístupové metody
  - linkovou: řízení, přenos rámců
- standardy (příp. firemní technologie):
  - Ethernet, Fast Ethernet, Gb Ethernet, 10 Gb Ethernet
  - 100VG-AnyLan, Token Ring, FDDI
  - ATM, WiFi, PPP

Aplikační
Prezentační
Relační
Transportní
Síťová
Linková (spojová)
Fyzická

2

## Normy LAN

- původně většinou firemní standardy
  - např. Ethernet: XEROX, Token Ring: IBM
  - ARCnet (Attached Resource Computer)
- později normalizované:
  - IEEE (International Electrical Electronics Engineers)
    - IT, elektrické sítě, telekomunikace
    - počítačové sítě: skupina 802 (různé podskupiny, např. Ethernet 802.3)
  - ANSI (American National Standards Institute)
    - např. FDDI, Fibre Channel

3

# IEEE 802

- světově uznávané standardy
- IEEE 802: pracovní skupina pro lokální počítačové sítě
- podskupiny – pro konkrétní technologie
  - 802.2: linková vrstva (LLC – Logical Link Control)
  - 802.3: Ethernet (všechny verze)
  - 802.5: Token Ring (neaktivní)
  - 802.11: Wireless LAN (bezdrátové sítě)
  - 802.12: 10VG-AnyLan (neaktivní)
- zdarma (po půl roce): <http://standards.ieee.org/getieee802/>

4

# IEEE 802

## logické řízení spoje IEEE 802.2 LLC

<b>Ethernet</b> CSMA/CD  <b>IEEE 802.3</b>  koax, UTP, optical 10, 100 Mbps 1, 10 Gbps	<b>Token Ring</b> token  <b>IEEE 802.5</b>  STP, UTP 4, 16, 100 Mbps 1 Gbps	<b>WLAN</b> CSMA/CA  <b>IEEE 802.11</b>  rádiové vlny 11, 54 Mbps	<b>FDDI</b> token  <b>ANSI X3T9.5</b>  optika, UTP 100 Mbps
---	--	---	---

5

# Ethernet

- nejrozšířenější počítačová síť
- podporuje různá přenosová média
- v původní verzi používá sdílené médium, všesměrové vysílání
- chová se statisticky (nedeterministicky)
  - s rozumnou pravděpodobností funguje „dobře“
- aktivně se vyvíjí
  - zrychluje se (10 => 100 => 1000 => 10000 Mbps)
  - nová média (koax. kabel, UTP, optické kabely)
  - přístupové metody: sdílené médium => dvoubodové spoje

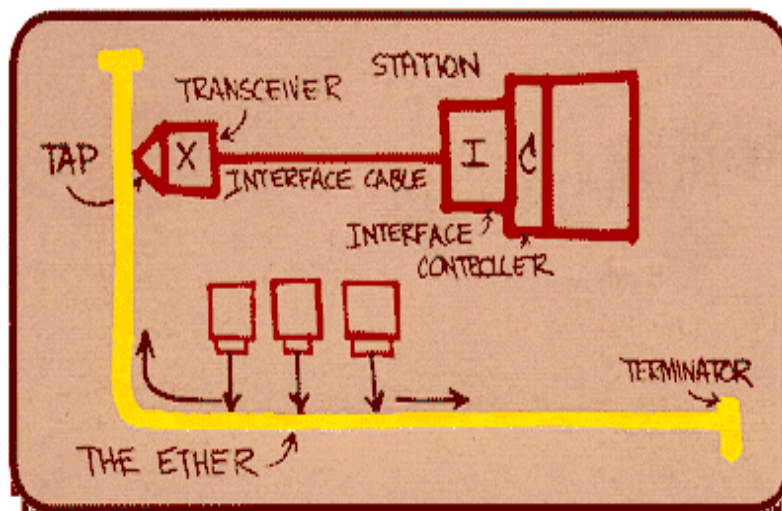
6

# Historie Ethernetu

- vznikal v letech 1974 -1976 v Xerox PARC (Palo Alto Research Center)
- autoři: Robert Metcalfe, David Boggs
- propojení pracovních stanic
- původně pracovala s rychlostí 2.94 Mbps
- první oficiální verze: 10 Mbps
  - DEC, Intel, Xerox: DIX Ethernet
- Ether: zastaralá fyzikální představa, že vlnění se šíří éterem
  - podobnost s všesměrovým vysíláním Ethernetu
- Ethernet: reg. ochranná známka, patent firmy Xerox, vzdala se jich

7

# Ethernet



8

# DIX vs IEEE

- Digital, Intel, Xerox (1980): DIX Ethernet, 10 Mbps
  - Dnes jako Ethernet II
  - dále se nevyvíjí
- předložen IEEE ke standardizaci
  - přijat, ale pozměněn (formát rámců)
  - aktivně vyvíjen
  - nejmenuje se Ethernet, ale řešení na bázi CDMA/CD
- dnes: Ethernet tvoří 80% podnikových sítí

9

# CSMA/CD

- nedeterministická, distribuovaná metoda přístupu k médiu  
jednoduchá a levná
- charakteristická pro Ethernet („dělá Ethernet Ethernetem“)
- nezaručuje žádnému uzlu, že vyšle data
- nedá se použít, pokud je potřeba zaručená doba odezvy  
např. řízení procesů v továrně
- malá režie při malé zátěži
- při stoupající zátěži může propustnost sítě klesat  
vlivem opětovného přenášení rámců, které se poškodily při kolizi

10

# Ethernet: CSMA/CD

- 1-persistentní CSMA metoda  
je-li obsazen kanál, pokusí se vyslat rámeček hned po jeho uvolnění  
umožňuje využít médium na 80 – 95%
- dojde-li ke kolizi, vysílající uzel to pozná (Collision Detection)  
zvýší se střední hodnota napětí na médiu  
vysílající uzel vyšle jam signál (32bitů), kterým umožňuje detekovat kolizi i ostatním
- střední doba prodlevy po kolizi zpočátku exponenciálně narůstá  
po deseti pokusech už zůstává konstantní, maximálně 16 pokusů  
n-tý pokus:  $0 < r < 2^k$ ,  $k = \min(n, 10)$ , vyberu r-tý kolizní slot  
Exponential Back-off: zajišťuje stabilitu pro max. 1024 stanic

11

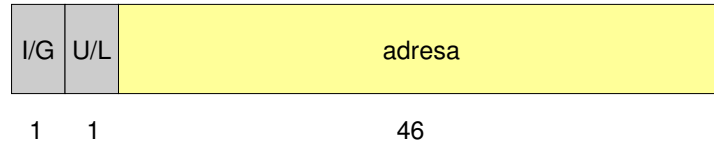
# Rámce Ethernetu

- kolize je způsobena přenosovým zpožděním, které musí být konečné  
je definována maximální velikost segmentu  
také minimální délka vyslaného rámce: 64B (512b)  
neboli 51.2μs na přenos minimálního rámce médiem tam a zpět (kolizní slot)  
uzel, který do vyslání 64 bajtů nezaznamená kolizi ví, že už ho nikdo nepřeruší
- velikost rámce (datové části): 46 – 1500 bajtů

preambule	cílová adresa	zdrojová adresa	délka typ dat	data	CRC (32bit)
8	6/2	6/2	2	48 – 1500	4

12

# MAC adresy



- 46 bitů (6 bajtů), udává se jako posloupnost šesti hexadecimálních čísel
- např.: 00:10:A4:E1:9E:5D
- speciální bity:
  - I/G: individuální (0)/skupinová (1) adresa
  - U/L: univerzální (0)/lokální (1) adresa
- lokální adresu přiděluje správce, univerzální výrobce karty

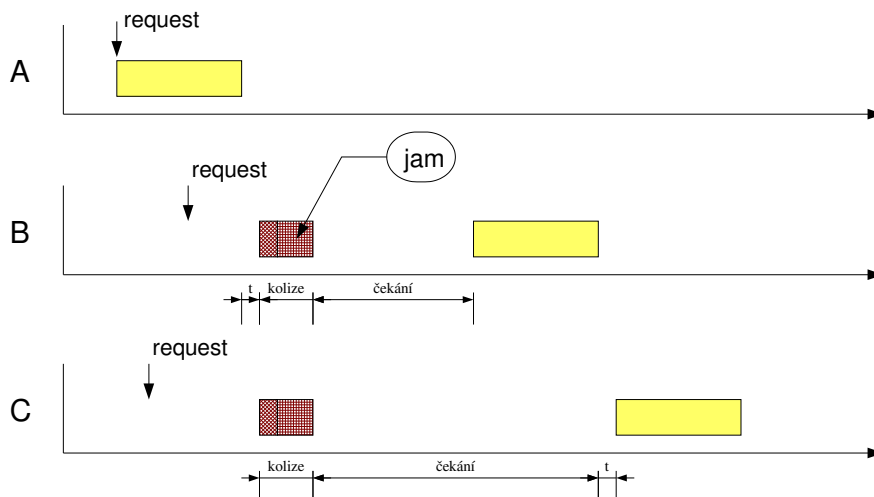
13

# MAC adresy

- univerzální adresy: nejvyšší 3 bajty určují výrobce
  - zbylé přidělí výrobce (pokud možno jednoznačně)
  - často lze adresu změnit pomocí speciálního SW
- přiděluje je IEEE, OUI (Organisational Unique Identifier)
- např.:
  - Novell: 00-00-1B
  - 3Com: 00-20-AF
  - Sun: 00-00-7D
- [http://www.coffer.com/mac\\_find/](http://www.coffer.com/mac_find/)

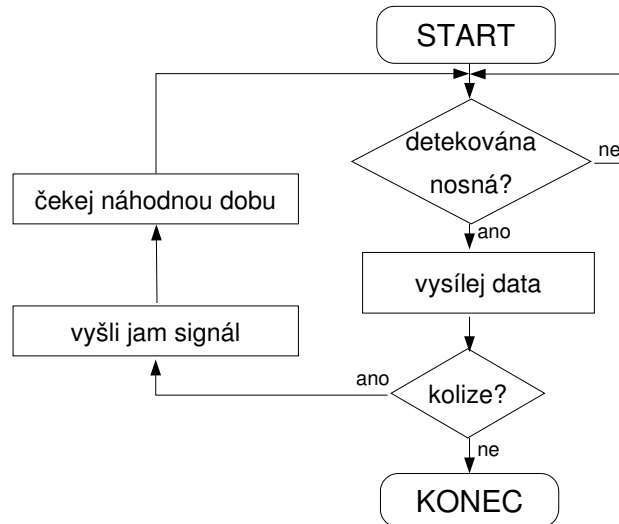
14

# Připomenutí: CSMA/CD



15

# CSMA/CD

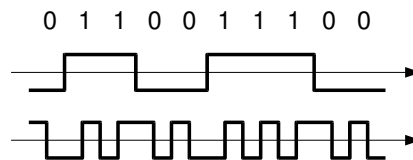


16

# 10BASE-5

- původní Ethernet (DIX), jako IEEE 802.3 (1983)
- tlustý (thick) koaxiální kabel (1 cm),
  - většinou žlutý, 50  $\Omega$
  - max. 500 m na jeden (nepřerušovaný) segment, max. 100 stanic na segmentu
- kabel je zakončený pomocí terminátorů (50  $\Omega$ )
  - impedanční přizpůsobení, aby nedocházelo k odrazům signálu na koncích kabelu
  - ke kabelu je připojen transceiver

- kódování Manchester (PSK):



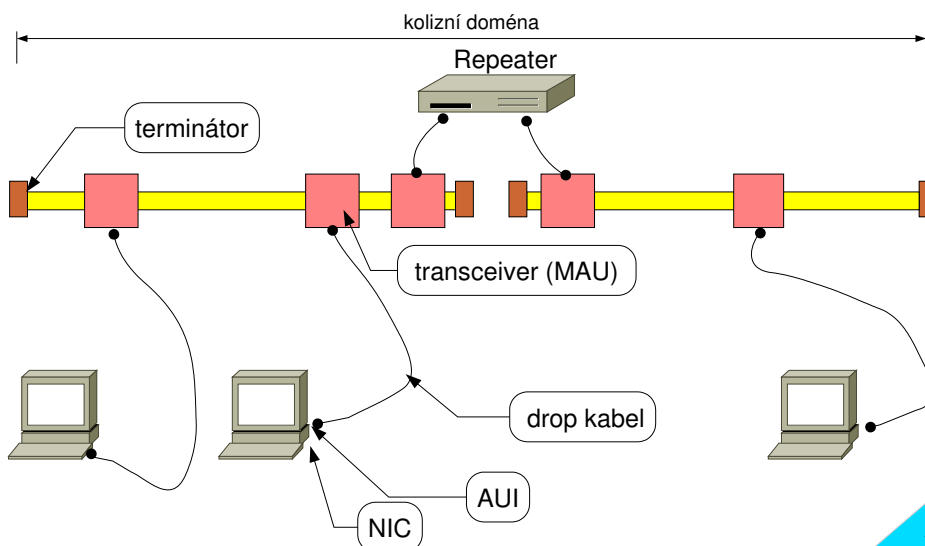
17

# Transceiver

- transceiver: zařízení které vysílá a přijímá signál
  - neboli MAU (Medium Access Unit)
  - kabel přerušen nebo „napíchnut“ speciálním konektorem (vampire tap)
  - min. 2.5m od sebe
- transceiver je spojen se stanicí speciálním kabelem
  - max. 50 metrů dlouhým
  - na koncích kabelu rozhraní AUI (Attachment Unit Interface)
    - konektor Canon, 15 pinů
  - umožňuje připojit různé typy MAU (koax, TP, optika)
- ve stanici je síťová karta (NIC, Network Interface Card)

18

# 10BASE-5



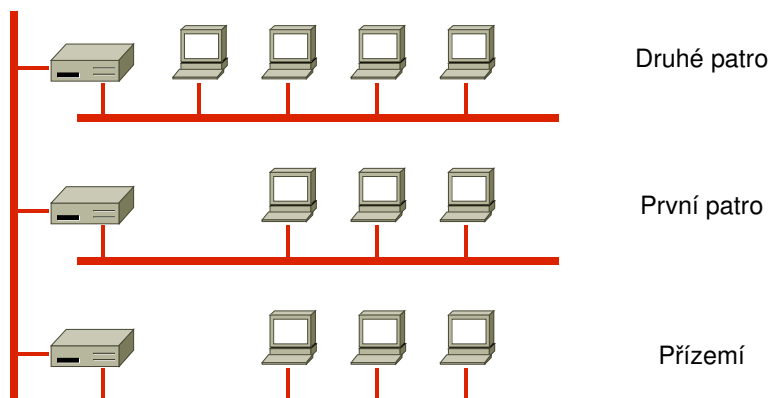
## Repeater

- Ethernet 10BASE-5 umožňuje připojit na segment max. 100 stanic  
min. 2.5m od sebe, na kabelu vyznačeno značkami
- spojíme segmenty pomocí aktivního prvku: *repeater* (opakovač)  
přijímá signál z jednoho segmentu, opraví ho a znovu vyšle do dalšího  
rekonstrukce preamble, šíří collision jam  
segmenty propojené opakovačem se chovají jako segment jediný (jedna kolizní doména)
- stromová topologie, pravidlo 5-4-3:  
max. 5 segmentů, 4 opakovače a pouze 3 segmenty pro připojení stanic  
sít nesmí obsahovat kružnici

20

## Pravidlo 5-4-3

- 5 segmentů, 4 opakovače, max. 3 segmenty se stanicemi  
zbylé dva segmenty mohou být použity pouze na propojení repeaterů

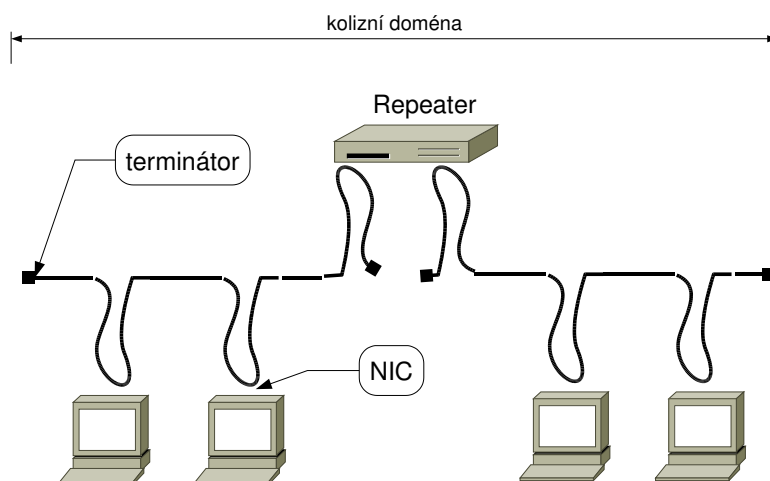


## 10BASE-2

- tenký (thin) koaxiální kabel (0.5 cm)
  - většinou černý, cheapernet, stejně jako u 10BASE-5 má impedanci 50  $\Omega$
  - levnější, lépe ohýbatelný, opět zakončený terminátorem
- max. velikost segmentu: 185m
- max. počet stanic na segmentu: 30, mezi stanicemi min. 0.5m
- připojuje se přímo ke stanici (síťové kartě)
  - pomocí BNC konektorů (T)
- MAU je součástí karty, ale může být vyvedeno i AUI
- EAD zásuvky (Ethernet Attached Device), případně oddělený transceiver

22

## 10BASE-2



23

## Označení: XA-Y

- X – přenosová rychlost v Mbps (10, 100, 1000)
- Y – maximální velikost segmentu v stovkách metrů
  - 5: 500 metrů, 2: 200 metrů
  - nebo použité médium (T: UTP, FX: optika)
- A – použitá přenosová technologie
  - BASE: přenos v základním pásmu
  - BROAD: v přeloženém pásmu
- např.: 10BASE-2, 100BASE-T, 10BROAD-36

24

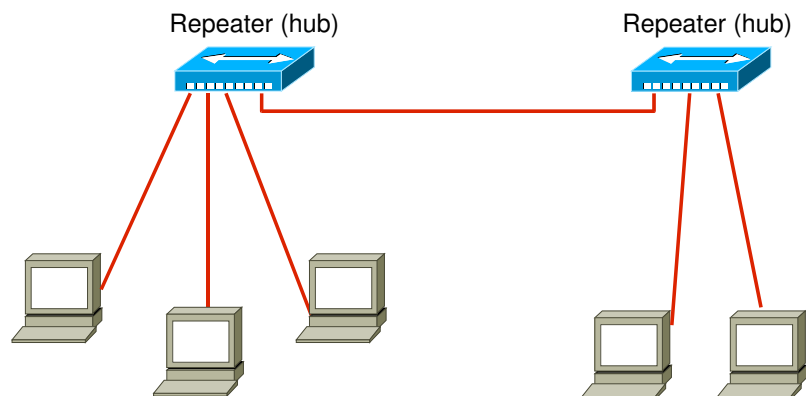


# 10BASE-T

- 802.3i, z roku 1990
- původně standard 1BASE-5 (1Mbps, 500m)
- pomalé => 10BASE-T, po kabelech Cat. 3
- TP, použity dva páry: jeden pro vysílání, druhý pro příjem
- RJ45 konektory (zásuvky)
- max. 100 m, dvoubodové spoje (nelze dělat odbočky)
  - 90 m pevný kabel (ve zdi), 2x5m přípojka
- multiport repeater (hub)
  - huby vzájemně propojeny do stromové struktury, stále je zde omezení 5-4-3

25

## 10BASE-T: topologie



26

## 10BASE-T: kabely

- TP: 4 páry, používají se 2 páry
  - jeden pro vysílání, druhý pro přijímání
  - páry jsou barevně označeny (zelená, modrá, oranžová, hnědá)
- konektory: RJ45, 8 pinů
  - pinů č. 1 a 2: Transmit (TX) (zelená)
  - pinů č. 3 a 6: Receive (RX) (oranžová)
  - ostatní: nezapojeny
- propojení repeater-stanice: patch kabel: propojeny stejné piny
- propojení dvou stanic: křížený kabel: prohozeny páry TX a RX

27

# 10BASE-Fx

- médium: optický kabel
- 10BASE-FL (fibre link)
  - spojení opakovačů, max. 2000 m
  - připojení stanice, max. 400 m
- 10BASE-FB (fibre backbone)
  - synchronní dvoubodový spoj
  - nepočítá se do 5-4-3 pravidla
- 10BASE-FP (fibre passive systém)
  - pasivní optická hvězdice

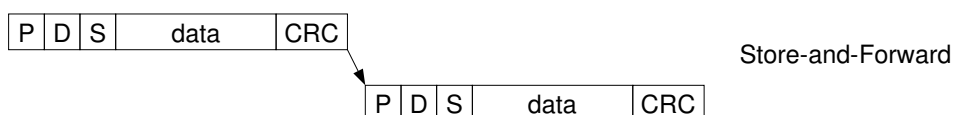
28

# Přepínaný Ethernet

- spojením pomocí repeaterů (hubů) stále zvětšujeme kolizní doménu
- celková velikost je omezena (huby zpomalují šíření signálu)
- přepínání na linkové vrstvě: most (více portů: switch)
  - segmentace sítě na více kolizních domén
- metoda Store-and-Forward
  - přepínač rámec přijme, rozhodne kam s ním a pak vyšle, zpoždění 58-1220  $\mu$ s
- metoda Cut-Through
  - přepínač přijme hlavičku, hned se rozhodne a začne vysílat, zpoždění 12  $\mu$ s
- mikrosegmentace: segment vždy tvoří jen 2 uzly
  - vlastně přepínání paketů

29

# Metody přepínání



30

## Zvyšování rychlosti

- vývoj nástupce 10BASE-x technologií, v první polovině 90. let
  - byla tu pouze drahá FDDI (vhodná pro páteřní síť)
- Fast Ethernet Alliance (1993), dva směry:
  - pouze zvýšit rychlost na 100 Mbps. zachovat CSMA/CD (100BASE-x, IEEE 802.3)
  - současně se zrychlením i změnit přístupovou metodu (100VG-AnyLan, IEEE 802.12)
  - oba směry byly vyvíjeny
- požadavek
  - použití stávající kabeláže, zpětná kompatibilita
  - vysoká rychlost
- nakonec zvítězila 100BASE-x a byla prohlášena za „nový Ethernet“

31

## Vývoj Ethernetu

Standard	Rok	Popis
DIX	1982	10 Mbps, tlustý koaxiální kabel
802.3	1983	10BASE-5 (tlustý koaxiální kabel)
802.3a	1985	10BASE-2 (tenký koaxiální kabel)
802.3c	1985	10 Mbps repeater
802.3d	1987	FOIRL (spojení repeaterů pomocí optického vlákna)
802.3i	1990	10BASE-T (TP)
802.3j	1993	10BASE-F (optické vlákno)
802.3u	1995	100BASE-T (Cat. 5)
802.3x	1997	Full duplex
802.3z	1998	1000BASE-X (optické vlákno)
802.3ab	1999	1000BASE-X (TP)
802.3ac	1998	Podpora VLAN (virtuální síť)
802.3ad	2000	Agregace (spojování) linek
802.3ae	2003	10 Gbps (optické vlákno)
802.3af	2003	Napájení po ethernetu

32

## 100BASE-T

- IEEE 802.3u, 1995
- desetinásobné zrychlení, různá média
  - UTP, STP, optika
- formát rámců, adresy, přístupová metoda: beze změn
- fyzická vrstva se rozdělila na MII a PHY
  - MII: (Medium Independent Interface) – něco jako AUI
  - PHY (PHYsical layer device) – liší se podle použité kabeláže
- mechanismus pro detekci možných rychlostí (a módu přenosu)
  - autonegociace, umožňuje automatickou spolupráci rychlých a pomalých prvků
  - není povinný (starší zařízení ho nepodporují)

33

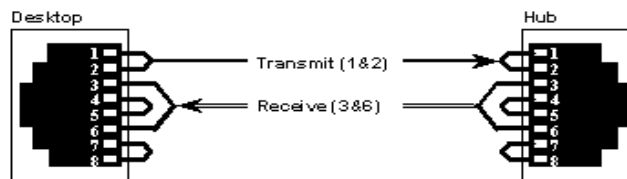
# 100BASE-x

- desetinásobné zrychlení 100BASE-TX:
  - dva páry kabelu kategorie 5 (modulační rychlost: 125 MBaudů)
  - kódování 4B5B (4 bity se zakódují do 5 bitů) => 100 Mbps
  - vychází ze standardu FDDI
- 100BASE-T4:
  - kategorie 3, 3 páry kabelu pro přenos dat (half-duplex), 1 pár pro detekci kolizí
  - data: 3 x 25MHz, kódování 8B6T [ $3 * (25 * 8/6 = 100/3) = 100$  Mbps]
- 100BASE-FX
  - dvojice optických vláken, kódování 4B5B
- maximální vzdálenost: UTP – 100 m, optika – 400m (2000m duplex)

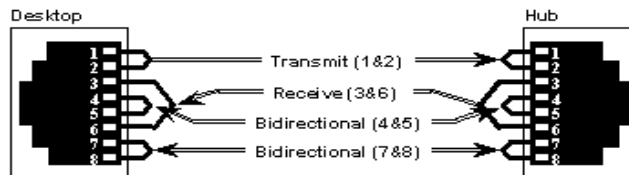
34

## Kabeláž 100BASE-x

**100BASE-T X**  $100\text{Mbps} = 1\text{-pár} \times 125\text{MHz} \times (80\% \text{ pro } 4\text{B5B kódování})$



**100BASE-T4**  $100\text{Mbps} = 3\text{-pár} \times 25\text{MHz} \times (133\% \text{ pro } 8\text{B6T kódování})$



Převzato z: <http://www.svetsiti.cz/>

35

## Opakovače

Pro 100BASE-x existují dva druhy opakovačů (repeaterů):

- Class I
  - dekóduje jednotlivé bity (umí překládat mezi jednotlivými druhy kódování 4B5B, 8B6T)
  - umožňuje propojit např. 100BASE-TX a 100BASE-T4
  - smí být v kolizní doméně jen 1 (zdržuje)
- Class II
  - nedekóduje bity, jen vyhlazuje signál
  - všechny porty musí používat stejné kódování (např. 4B5B)
  - mohou být dva v kolizní doméně

36

## Velikost kolizní domény

Opakovač	UTP	Optika	T4-FX	TX-FX
Žádný	100m	412m	N/A	N/A
1 x Class I	200m	272m	231m	260m
1 x Class II	200m	320m	N/A	308m
2 x Class II	205m	228m	N/A	216m

- při plně duplexním provozu (ne 100BASE-T4!) nedochází ke kolizím
- neplatí max. vzdálenosti kvůli detekci kolizí (např. jednovidové optické vlákno můžeme použít až na vzdálenost desítek kilometrů)

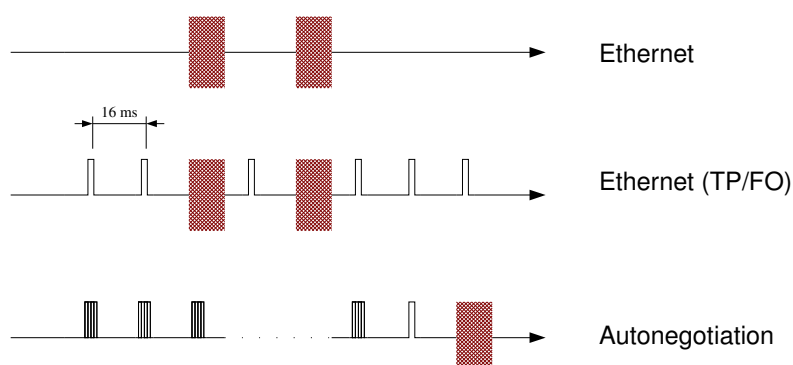
37

## Autonegociace

- domluva na rychlosti, a typu komunikace dvou přímo propojených uzlů
- 10BASE-T vysílá pravidelně pulsy, které slouží ke zjištění, zda je linka funkční
  - NLP: Normal Link Pulse: vysílají se, pokud je linka nečinná (nepřenáší se data)
  - vysílají se každých 16 ms
- Zobecnění: nevysílá se jeden impuls, ale 16 impulsů za sebou
  - 33 pozic, každá druhá časování: 16 bitů, umožňuje přenášet informaci
  - prvních 5 bitů: Selector (IEEE 802.3: 10000B)
  - dalších 8 bitů: Technology Ability – specifikuje, které rychlosti/módy jsou podporovány
  - 1 bit Remote Fault – nastala chyba. 1 bit Acknowledge – potvrzení od protistrany
  - 1 bit Next Page (rozšíření)

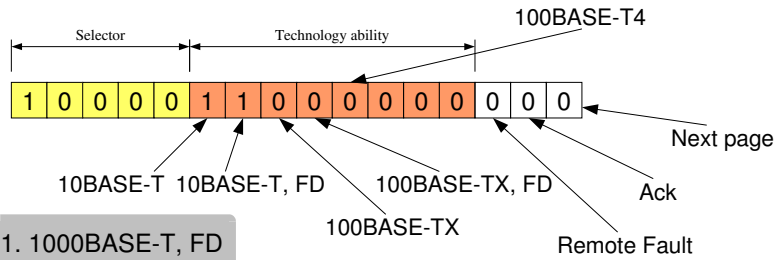
38

## Autonegociace



39

# Autonegociace



1. 1000BASE-T, FD
2. 1000BASE-T, HD
3. 100BASE-TX, FD
4. 100BASE-T4
5. 100BASE-TX, HD
6. 10BASE-T, FD
7. 10BASE-T, HD

- vyšší rychlosti jsou domluveny pomocí next page  
ta se přenáší, pokud oba nastaví bin Next page na 1
- umožňuje detekovat i zařízení, která autonegociaci nepodporují (např. vysílají jen NLP)

40

# Migrace 10 => 100

- Migrace na rychlejší síť znamená:
  - výměnu NIC (síťových karet)
  - výměnu aktivních síťových prvků (přepínačů, hubů)
  - kabeláž zůstává stejná (Cat. 5 nebo Cat. 3)
- k propojení prvků s různou rychlostí je nutný switch (nikoliv hub)
- používaly se kombinované switche, např. 24x10 + 2x100 Mbps
  - stanice na 10 Mbps, servery (a/nebo uplink a páteřní síť) na 100 Mbps
  - stejně je do dnes pro 100Mbps+1Gbps
- dnešní kabeláž se provádí v Cat. 5 (Cat. 5e)

41

# 1 Gbps Ethernet

- standard IEEE 802.3z z roku 1998
- použité kódování: 8B10B
- prodloužen kolizní slot (z 64B na 512B)
  - krátké rámce doplněny na 512B, ale je možné vyslat více krátkých rámců po sobě
  - běžně využito kolem 400 Mbps
- na místě MII je GMII (Gigabit Media Independent Interface)
- max. 1 opakovač v kolizní doméně
- povinná podpora autonegociace (Next Page)
- fyzická kabeláž vychází z technologie Fiber Channel

42

## 1000BASE-xX

- 1000BASE-CX
  - STP, max. 25 m
  - k propojení switčů, serverů
- 1000BASE-SX
  - optický kabel, laser 850nm, max. 300 m/62.5μm (550 m/50μm)
  - pro horizontální rozvod (levnější)
- 1000BASE-LX
  - optický kabel, laser 1300nm, 550m mnohavidové, 3km jednovidové vlákno
  - pro propojení na větší vzdálenosti, např. mezi budovami

43

## 1000BASE-T

- standard IEEE 802.3ab z roku 1999
- pro fyzickou vrstvu nové standardy
- 1000BASE-T
  - max. 100 m, Cat. 5, používají se 4 páry
  - half duplex
- 1000BASE-TX
  - max. 100 m, Cat. 6, 2 páry tam, 2 páry zpět
  - levnější aktivní prvky (poloviční počet vyslačů/přijímačů)
  - umožňuje full duplex

44

## 10Gbps

- standard IEEE 802.3ad z roku 2002
- pouze full duplex mód, původně pouze pro optiku, dnes i UTP
  - dosah podle média: 65 m – 40 km
- používá se nejen pro LAN, ale i WAN (vytlačila např. ATM)
- XGMII (10 Gigabit Media Independent Interface)
- WIS (WAN Interface Sublayer)
  - zapouzdření Ethernet rámců do SONET/SDH kanálu
- S: 850 nm, L: 1310 nm, E: 1550 nm
- X: 8B10B, R: 64B66B, W: WIS interface

45

## 10GBASE-x

- 10GBASE-SR/SW  
multimode vlákno, laser 850 nm, 2 – 300 m
- 10GBASE-LR/LW  
single mode vlákno, laser 1310 nm, 2 – 10 km (i více, podle kvality kabelu)
- 10GBASE-LX4  
používá 4 barvy WDM, dark fiber (pronajatá vlákna bez konc. prvků)  
1310 nm, single mode/multimode vlákno (max. 300 m/10 km)
- 10GBASE-CX4 (IEEE 802.3ak)  
twinaxiální kabel, max. 15 m, propojení switchů

46

## Napájení po Ethernetu

- PoE (Power over Ethernet), IEEE 802.3af
- přenos napájení po UTP vodičích  
umožněn nízkou spotřebou moderních síťových prvků  
např. bezdrátové přístupové body, IP telefony (běžné telefony tak fungují)  
buď po datových nebo po volných vodičích
- použije se při určitém vnitřním odporu zařízení (25 k $\Omega$ )  
aby nedošlo k poškození stávajících zařízení
- elektrické parametry: ss 48V, 15W
- bývá zapojeno jako speciální hub u ethernetového switche

47

## Long Reach Ethernet

- Ethernet po běžné telefonní lince  
kategorie 1 až 3
- rychlost 10 Mbps, dosah až několik km
- možná nástupnická technologie po ADSL?  
zatím není na obzoru
- Ethernet po ostatných drátech (Cisco)

48